محاسبه ضریب تصحیح جنس محیط برای اتاقک یونش PTW-30013 به روش تحلیلی و شبیه سازی

پیمان رضاییان، صدیقه کاشیان، امیر مصلحی، آنیتا عالیپور
سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

با توجه به کالیبراسیون اتاقک‌های یونش مورد استفاده در کاربردهای پزشکی در آب، همواره دز جذبی بخش های مختلف بدن در پرتودرمانی، بر اساس دز جذبی آب تعیین می‌شود. با توجه به تفاوت چگالی و ساختار آب با سایر بخش‌های بدن با کمک ضریب تصحیح جنس ماده می‌توان مقدار تصحیح شده دز جذبی را در بخش‌های مختلف بدن با صحت بالاتری تعیین کرد. در این پژوهش این ضریب برای اتاقک یونش PTW-30013 با استفاده از روش تحلیلی و شبیه سازی به روش مونت کارلو برای محیط آب و هوا محاسبه و اندازه‌گیری شد که با اختلافی کمتر از۱۰٪ در توافق با یکدیگر بودند. با توجه به صحت و سرعت می‌توان با بکارگیری تئوری حفره برای گستره وسیعی از مواد این ضریب را تعیین کرد.

کلمات کلیدی: *ضریب تصحیح جنس محیط، کالیبراسیون، اتاقک یونش، نظریه حفره*

مقدمه:

در انجام محاسبات دزیمتری و کالیبراسیون‌های مرتبط با اهداف پزشکی و درمانی، جنس بدن معادل بافت در نظر گرفته می‌شود[۱]. بر این اساس و با توجه به معادل بودن آب و بافت، به منظور کالیبراسیون اتاقک‌های یونش یا میدان‌های پرتویی مورد استفاده در زمینه‌های پزشکی از فانتوم آب استفاده می‌شود. با توجه به اینکه بخش‌های مختلف بدن نظیر خون، استخوان و ... دارای چگالی و ساختار متفاوتی نسبت به آب و یا بافت هستند [۱و۲]، استفاده از فانتوم آب برای کالیبراسیون سبب می‌شود که میزان دز جذبی توسط بخش‌هایی نظیر خون و استخوان، با دز جذبی مورد انتظار متفاوت باشد. بر این اساس می‌توان ضریب تصحیح جنس محیط را به صورت نسبت میان دز جذبی در محیط مورد نظر (خون یا استخوان) به دز جذبی در آب را تعریف کرد. با بهره گیری از این ضریب تصحیح می‌توان دز جذبی در آب را به دز جذبی در سایر محیط‌ها تبدیل کرد. در این مقاله تلاش می‌شود تا این ضریب برای مواد مختلف به سه روش تحلیلی، شبیه سازی مونت کارلو و تجربی تعیین شود. نتایج

تحقیقات می‌تواند در تعیین میزان دز جذبی قسمت‌های مختلف بدن در حین درمان با یک میدان کالیبره مورد بررسی قرار گیرد.

روش کار

تعیین تحلیلی ضریب تصحیح جنس محیط

قرار دادن یک آشکارساز یا دزیمتر در یک میدان پرتویی، ممکن است سبب اختلال در میدان شود. در نتیجه همواره این امکان وجود دارد که میزان دز جذبی در یک نقطه از میدان در حالتی که دزیمتر وجود دارد و در حالت عدم حضور دزیمتر متفاوت باشد. از این رو توسط محقیقن تلاش شده است که با استفاده از روش‌های مختلف میزان دز جذبی در دزیمتر به دز محیط ارتباط داده شود. یکی از این روش‌ها، نظریه حفره برلین است [۳]. با استفاده از این نظریه میزان دز جذبی در محیط(D_m) به دز جذبی دزیمتر (D_c) از طریق رابطه (۱) مرتبط می‌شود:

$$\frac{D_c}{D_m} = f_m^c \qquad (۱)$$

در این رابطه مقدار f_m^c تابعی از انرژی فوتون فرودی، جنس و هندسه‌ی دزیمتر مورد استفاده است. اگر فرض شود یک حفره‌ی ایده‌ال به عنوان دزیمتر در یک محیط مشخص قرار گرفته است، آنگاه بر اساس نظریه حفره داریم:

$$f_m^c = d_c(S_m^c) + (1 - d_c)(\frac{\mu_{en}}{\rho})_m^c \qquad (۲)$$

در این رابطه S_m^c و $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_m^c$ به ترتیب نسبت توان توقف جرمی الکترون‌ها تولیده شده و نسبت ضریب تضعیف جرمی فوتون فرودی در حفره به محیط است. همچنین در این رابطه d به صورت زیر تعریف می شود:

$$d_c = \frac{1-e^{-\beta L}}{\beta L} \qquad (۳)$$

که در آن L، طول متوسط وتر طی شده توسط الکترون‌ها در حفره و مقدار β نیز با استفاده از رابطه ارائه شده توسط یانسن در سال ۱۹۷٤، به صورت زیر نوشته می شود [۳]:

$$e^{-\beta t_{max}} = 0.04 \qquad (٤)$$

در این رابطه t_{max} معادل با مسافتی است که تنها ۱٪ از الکترون‌ها آن را طی می‌کنند. همانگونه که گفته شد، رابطه‌ی (۲) برای حالتی صادق است که دزیمتر به عنوان یک حفره‌ی ایده‌آل در نظر گرفته شود. در بسیاری از موارد دزیمتر یک اتاقک یونش با دیواره‌های مختلف و کلاهک تعادل بار است که ممکن است دریک فانتوم قرار

گرفته باشد. به عبارت دیگر ، میان حجم حساس اتاقک یونش (حفره) و محیط ممکن است چندین لایه قرار داشته باشد. در این صورت نظریه حفره را می‌توان به صورت زنجیره‌ای و به صورت زیر بکار برد:

$$\frac{D_c}{D_m}=\frac{D_c}{D_1}\times\frac{D_1}{D_2}\times\ldots.\times\frac{D_{i-1}}{D_i}\times\frac{D_i}{D_m} \quad (۵)$$

و f_m^c را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$f_m^c=(f_1^cA_1)\times(f_2^1A_2)\ldots.\times(f_i^{i-1}A_i)\times f_m^i \quad (٦)$$

در این رابطه A_i ضریب تضعیف ناشی از ضخامت لایه i ام است که بر حسب $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_i$ ضریب تضعیف جرمی ، ρ_i چگالی و t_i ضخامت لایه مورد نظر به صورت زیر نوشته می‌شود :

$$A_i=e^{-(\frac{\mu_{en}}{\rho})i\times(\rho_it_i)} \quad (۷)$$

اساس نوشتن رابطه (٦) این است که در اولین گام، اتاقک یونش به عنوان حفره و اولین لایه به عنوان محیط در نظر گرفته می‌شود. در دومین گام اولین لایه به عنوان حفره و لایه دوم به عنوان محیط فرض می‌شود و این فرآیند تا آخرین لایه و محیط ادامه می‌یابد. فرض کنیم یک اتاقک یونش متشکل از چندین دیواره در فانتوم ۱ با جنسی مشخص قرار گیرد و این فانتوم در هوا قرار داشته باشد. با درنظر گرفتن فانتوم به عنوان یک لایه و هوا به عنوان محیط خواهیم داشت:

$$D_{c1}=f_{Air}^{c1}\times D_{Air} \quad (۸)$$

در این D_{Air} و D_{c1} به ترتیب دز جذبی در هوا و در حجم حساس اتاقک یونش می‌باشند. مقدار f_{Air}^{c1} نیز با استفاده از رابطه‌ی (٦) و (۲) تعیین می‌شود. حال اگر جنس فانتوم تغییر کند، با توجه به تغییر میزان دز جذبی در حجم حساس اتاقک یونش رابطه‌ی (۸) به صورت زیر بازنویسی خواهد شد.

$$D_{c2}=f_{Air}^{c2}\times D_{Air} \quad (۹)$$

در این رابطه نیز D_{c2} دز جذبی در حجم حساس اتاقک یونش است در شرایطی که اتاقک یونش در فانتوم دوم قرار داده شد است. سمت چپ رابطه‌ی (۸) نشان دهنده‌ی میزان دز جذبی در اتاقک یونش است تحت شرایطی که این اتاقک در فانتوم ۱ قرار گرفته است و سمت چپ رابطه‌ی (۹) میزان دز جذبی را برای حالتی که اتاقک یونش در فانتوم ۲ قرار دارد نشان می‌دهد. بنابراین نسبت این دو مقدار دز جذبی به نوعی نشان دهنده ضریب تصحیح جنس محیط خواهد بود که با استفاده از روابط (۸) و (۹) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$k_m=\frac{f_{Air}^{c1}}{f_{Air}^{c2}} \quad (۱۰)$$

با استفاده از روابط (۲)، (٦) و (۱۰) مقدار ضریب تصحیح جنس محیط به صورت تحلیلی قابل محاسبه است. بدین منظور ابتدا برای فوتون فرودی، با استفاده از سطح مقطع کلین نشینا، بیناب الکترون‌های پس پراکنده شده

تعیین و متوسط انرژی الکترون‌های ایجاد شده محاسبه می‌شود[٤]. با توجه به اینکه این احتمال وجود دارد که این الکترون‌ها در هر بخشی از لایه‌های مختلف ایجاد شوند، نصف انرژی متوسط محاسبه شده به عنوان انرژی تعادلی متوسط الکترون‌ها در نظر گرفته می‌شود[۳]، و با استفاده از کتابخانه‌ی NIST مقادیر توان توقف جرمی برای لایه‌ها و محیط‌های مختلف محاسبه می‌گردد[۵]. همچنین مقدار ضریب تضعیف جرمی نیز برای فوتون فرودی از کتابخانه NIST استخراج می‌شود[۵]. برای تعیین β نیز بیشینه انرژی پس زده شده در برهمکنش کامپتون فوتون‌ها محاسبه شده و برد این الکترون‌ها معادل t_{max} در نظر گرفته شده و با استفاده از رابطه‌ی (٤) مقدار β تعیین می‌گردد. با تعیین مقادیر β و L می‌توان برای هر لایه مقدار d_c را محاسبه کرد و در نهایت ضریب تصحیح را بدست آورد.

شبیه سازی مونت کارلو

برای شبیه سازی در محیط‌های مختلف از کد محاسباتی MCNP.4C [٦] استفاده شد. بدین منظور اتاقک یونش در عمق ۵ سانتیمتری فانتوم ۳۰cm×۳۰cm ×۱۵cm قرار داده شد. این فانتوم به گونه‌ای در برابر چشمه کبالت – ٦۰ قرار گرفت، که فاصله اتاقک یونش از چشمه ۸۰ سانتیمتر باشد. برای تعیین میزان دز جذبی در اتاقک یونش از تالی f8* استفاده شد. پس از تعیین دز جذبی در اتاقک یونش، ضریب تصحیح جنس محیط محاسبه گردید.

اندازه‌گیری تجربی

برای ارزیابی روش تحلیلی و شبیه سازی‌های انجام شده، ضریب تصحیح جنس محیط برای هوا اندازه‌گیری شد. برای این منظور از اتاقک یونش Farmer-PTW -30013، استفاده شد. این اتاقک برای کالیبراسیون در سطوح پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هندسه، ابعاد و مواد بکار رفته در ساختار این آشکارساز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱هندسه، ابعاد و مواد بکار رفته در اتاقک یونش PTW-30013.

دیواره‌های حجم حساس	۰/۳۳۵ میلیمتر پرسپکس با چگالی ۱/۱۹ گرم بر سانتیمتر مکعب ۰/۰۹ میلیمتر گرافیت با چگالی ۱/۸۵ گرم بر سانتیمتر مکعب
چگالی سطح کل	٥٦/٥ میلی گرم بر سانتیمتر مکعب
ابعاد حجم حساس	شعاع ۳/۰۵ میلیمتر ارتفاع ۲۳/۰ میلیمتر
الکترود مرکزی	آلومینیوم ۹۸/۹۹٪ با قطر ۱/۱ میلیمتر
کلاهک تعادل بار	پرسپکس با ضخامت ٤/٥٥ میلیمتر

پرتودهی در میدان کبالت-۶۰ در فاصله ۸۰ سانتیمتری از چشمه انجام شد. تنظیمات به گونه ای انجام شد که ابعاد میدان در محل اتاقک یونش، ۱۰×۱۰ سانتیمتر مربع باشد. ابتدا اتاقک یونش بدون کلاهک تعادل الکترونی، در عمق ۵ سانتیمتری از یک فانتوم معادل آب استاندارد قرار داده شد و میزان دز جذبی در اتاقک تعیین شد. در مرحله دوم اتاقک به همراه کلاهک تعادل الکترونی پرتودهی و میزان دز جذبی در آن ثبت گردید. هر دو مورد پرتودهی در آب و هوا اندازه میدان بود. با توجه به مقادیر دز جذبی اندازه‌گیری شده [۷] ضریب تصحیح جنس محیط برای هوا نسبت به آب قابل محاسبه خواهد بود.

نتایج

به منظور استفاده از نظریه حفره، برای فوتون‌های ۱/۲۵ مگاالکترون ولت، مقدار ضریب تضعیف جرمی برای مواد مختلف استخراج شد. متوسط انرژی الکترون‌های پس زده شده برای این فوتون‌ها حدود ۰/۶ مگاالکترون ولت و انرژی تعادلی متوسط الکترون‌ها ۰/۳ مگاالکترون ولت محاسبه و مقادیر، L، β و d_c برای مواد مختلف محاسبه شد که مقادیر آن در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲- محاسبه مقادیر L، β و d_c برای حالت های مختلف

	حجم حساس	دیواره گرافیتی	دیواره پرسپکس	کلاهک تعادل بار	فانتوم آب	فانتوم خون	فانتوم استخوان
L (cm)	۰/۵۳۹	۰/۰۰۹	۰/۰۳٤	۰/٤٥٥	۳/۳۳۳	۳/۳۳۳	۳/۳۳۳
$\beta(cm^{-1})$	۰/۰۰۹	۱۳/٦۷	۹/٦٦	۹/٦٦	۸/۳۲	۸/۷٤	۱٤/۳۹
d_c	۰/۹۹۸	۰/۹٤۱	۰/۸٥٤	۰/۲۲٥	۰/۰۳٦	۰/۰۳٤	۰/۰۲۱

با توجه به ضخامت پایین دیواره‌های گرافیتی، پرسپکس و کلاهک تعادل بار مقدار طول متوسط وتر برای این لایه‌ها برابر با ضخامت آن‌ها در نظر گرفته شد. مقادیر محاسبه شده، شبیه سازی شده و تجربی ضریب تصحیح جنس محیط در جدول ۳ نشان داده شده است

جدول ۳ مقادیر محاسبه شده به روش تحلیلی، شبیه سازی و تجربی برای ضریب تصحیح جنس محیط هوا به آب

ضریب تصحیح هوا نسبت به آب	روش تعیین
۱/۱۸	نظریه حفره
۱/۲۱	شبیه سازی
۱/۱۰±۰/۰۱	اندازه‌گیری

داده‌های جدول ۳ نشان می دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش‌های تحلیلی و شبیه‌سازی با اختلافی کمتر از ۱۰٪ با یکدیگر همخوانی دارند که بدین ترتیب صحت محاسبات تائید می‌گردد. بنابراین از این روش برای تعیین این ضریب تصحیح در سایر حالات استفاده می‌شود. این مقادیر در جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ٤- نتایج محاسبات انجام شده برای تعیین نسبت دز در مواد مختلف

شبیه سازی مونت کارلو	نظریه حفره	ضریب تصحیح جنس محیط
۰/۸۱	۰/۸۵	خون به هوا
۰/۷۱	۰/۷٦	استخوان به هوا
۰/۹۷	۰/۹۹	خون به آب
۰/۸۸	۰/۹۱	استخوان به آب

در این مورد مشاهده می‌شود که مابین نتایج محاسبه شده با نظریه حفره و شبیه سازی مونت کارلو تطابق وجود دارد. به بیان بهتر اختلاف میان نتایج محاسبات تحلیلی و شبیه‌سازی کمتر از ۷٪ است.

بحث و نتیجه گیری

معمولا کالیبراسیون میدان‌هایی پرتویی مورد استفاده در کاربردهای پزشکی در آب انجام می‌شود. با توجه به اینکه ساختار و چگالی بخش‌های مختلف بدن با آب متفاوت است، استفاده از ضریب کالیبراسیون جنس محیط سبب می‌شود که بتوان میزان دز جذبی بخش‌های مختلف بدن را با صحت و دقت بیشتری تعیین کرد. این ضریب را می‌توان به صورت تجربی، شبیه سازی و تحلیلی محاسبه کرد. مقادیر محاسبه شده این ضریب به صورت تحلیلی در این پژوهش با مقادیر محاسبه شده با استفاده از شبیه‌سازی و مقادیر تجربی دارای سازگاری می‌باشد. با توجه به اینکه امکان اندازه‌گیری تجربی همواره وجود ندارد، بنابراین می‌توان از روش‌های تحلیلی و شبیه‌سازی در حالاتی که امکان اندازه‌گیری این ضرایب تصحیح وجود ندارد استفاده کرد. از طرفی با توجه به اینکه اختلاف میان نتایج تحلیلی و شبیه سازی کمتر از ۷٪ است، به توجه به سرعت و صحت روش‌تحلیلی، می‌توان از این روش برای تعیین این ضریب تصحیح در مواد مختلف استفاده کرد.

مراجع

1- M.Arib, T.Medjadj, Y. Bouduma, Study of the influence on phantom material and size on the calibration on ionizing chamber in terms of absorbed dose to water,Journal of clinical medical physics, 7,3,55-64, 2003.
2- A.Solmanian, M. Ghafoori, Standard calibration of ionization chamber used in radiation therapy dosimetry and evaluation uncertainties, Iran. J. Radiat. Res. 8, 3,195-199, 2010.
3- F. H. Attix, Introduction to radiological physics and radiation dosimetry, Wiely-VCH pub, Germany, 231-263, 2004.
4- G. F. Knoll, Radiation detection and measurements, John Wiely & Sons, Inc., USA, 50-53, 1999.
5- National Institute of Standard and Technology

6- Briesmeister, MCNP: a general Monte Carlo N-particle transport code, Version 4B, Los Alamos National Laboratory, 1993.
7- International atomic energy agency, Calibration of dosimeter used in radiation therapy, Technical reports series No.374, Vienna, 1994.